

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-193268
(43)Date of publication of application : 13.07.1992

(51)Int.Cl. A61B 8/00
G01N 29/22
G01N 29/26

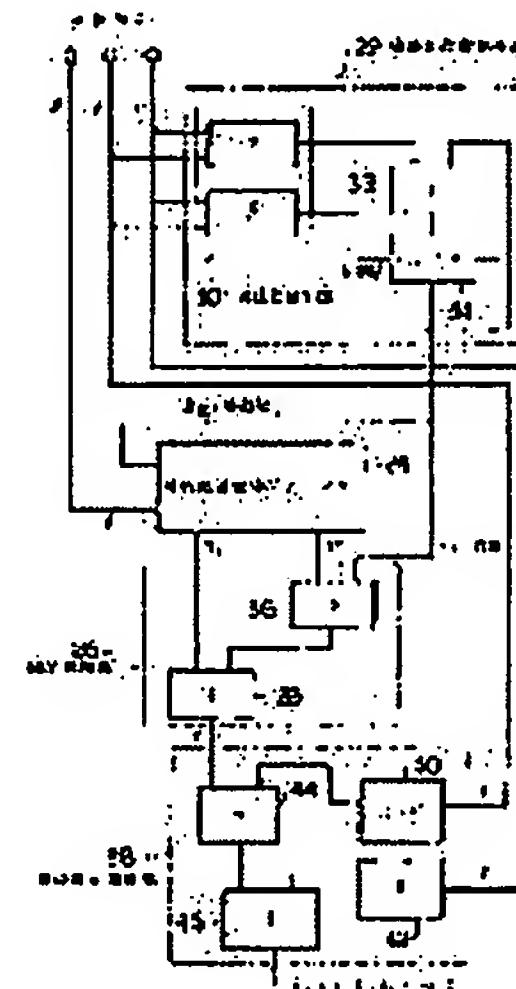
(21)Application number : 02-327825 (71)Applicant : ALOKA CO LTD
(22)Date of filing : 27.11.1990 (72)Inventor : ITO TAKASHI
SOU KAGEFUMI

(54) RETARDATION TIME GENERATING APPARATUS FOR ULTRASONIC DIAGNOSIS APPARATUS

(57) Abstract:

PURPOSE: To make it possible to perform generation of retardation time by performing a specified unit recovery operation on a normalized retardation time T obtd. by a normalized retardation time table.

CONSTITUTION: A unit recovery operation part 28 performs multiplication of a normalized retardation time T by f/C and addition of a specified const. K to the result of multiplication. The unit recovery operation part 28 is constituted of an f/C generator 40, a K generator 42, a multiplicator 44 multiplying a retardation time T output from an interpolation treating part 26 by a value output from the f/C generator 40 and an adder 45 adding a const. K output from the K generator 42 and being different depending on the kind of a probe to the output of the multiplicator 44. Therefore, by performing this operation, a retardation time is successively output.



⑫公開特許公報 (A) 平4-193268

⑬Int.Cl.⁵A 61 B 8/00
G 01 N 29/22
29/26

識別記号

501
503

府内整理番号

9052-4C
6928-2J
6928-2J

⑭公開 平成4年(1992)7月13日

審査請求 有 請求項の数 4 (全13頁)

⑮発明の名称 超音波診断装置の遅延時間発生装置

⑯特 願 平2-327825

⑰出 願 平2(1990)11月27日

⑮発明者 伊藤 貴司 東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 アロカ株式会社内

⑮発明者 曹 景文 東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 アロカ株式会社内

⑯出願人 アロカ株式会社 東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号

⑰代理 人 弁理士 吉田 研二 外2名

明細書

1. 発明の名称

超音波診断装置の遅延時間発生装置

2. 特許請求の範囲

(1) 超音波ビームを形成するアレイ振動子を構成する各振動素子の送受信号にそれぞれ異なる遅延時間を与えて、超音波ビームの電子偏向や電子フォーカスを行う超音波診断装置において、

前記アレイ振動子における超音波ビーム形成を中心点から遅延時間 τ 発生に係る振動素子までの距離 x を超音波ビームの焦点距離 f で除した規格化位置 X を発生する規格化位置発生手段と、

前記規格化位置 X 及び超音波ビームの偏向角度 θ で定められる規格化遅延時間 T を保持する規格化遅延時間テーブルと、

を含み、

前記規格化遅延時間テーブルにて求められた規格化遅延時間 T に所定の単位復元演算を行って遅延時間 τ を発生することを特徴とする超音波診断装置の遅延時間発生装置。

(2) 請求項(1)記載の超音波診断装置の遅延時間発生装置において、

前記規格化遅延時間テーブルは、テーブルのバラメータである前記規格化位置 X 及び前記偏向角度 θ のうち少なくとも一方が所定のサンプル間隔で標本化されてテーブル構成され、

前記規格化遅延時間テーブルにて求められた規格化遅延時間 T を補間する補間手段が設けられたことを特徴とする超音波診断装置の遅延時間発生装置。

(3) 超音波ビームを形成するアレイ振動子を構成する各振動素子の送受信号にそれぞれ異なる遅延時間を与えて、超音波ビームの電子偏向や電子フォーカスを行う超音波診断装置において、

前記アレイ振動子における超音波ビーム形成を中心点から遅延時間 τ 発生に係る振動素子までの距離 x を超音波ビームの焦点距離 f で除した規格化位置 X を発生する規格化位置発生手段と、

前記規格化位置 X 及び超音波ビームの偏向角度 θ で定められる規格化遅延時間 T に前記焦点距離

f と超音波の伝搬速度 C とで定まる単位復元係数 f/C を乗算した遅延時間 D を保持する遅延時間テーブルと、

を含むことを特徴とする超音波診断装置の遅延時間発生装置。

(4) 請求項(3)記載の超音波診断装置の遅延時間発生装置において、

前記遅延時間テーブルは、テーブルのパラメータである前記規格化位置 X 、前記偏向角度 θ 及び前記焦点距離 f のうち少なくとも1つが所定のサンプル間隔で標本化されてテーブル構成され、

前記遅延時間テーブルにて求められた遅延時間 D を補間する補間手段が設けられたことを特徴とする超音波診断装置の遅延時間発生装置。

3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

本発明は、アレイ振動子を構成する各振動素子の送受信号に遅延時間を与える超音波診断装置の遅延時間発生装置に関する。

【従来の技術】

いる遅延器 $12a$ に与えられる遅延時間は、例えば、次の第1式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \left(f - \left(f^2 + (l - \Delta p (m+1)/2)^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - 2 \Delta p f (m+1) \sin \theta / 2 \right)^{1/2} \right) \\ &\quad / C + K \end{aligned} \quad \cdots \text{ (第1式)}$$

ただし、 f は焦点距離、 m は振動素子の総数、 Δp は微小振動素子間の間隔、 θ は超音波の偏向角度、 C は超音波の媒体（例えば、生体）中における伝搬速度を示している。また、 K は物理的に実現できない負の遅延時間を避けるための正の定数である。

従って、このような第1式で求められる遅延時間を各振動素子に接続された遅延器に与えることにより、超音波ビームを θ 方向に偏向でき、かつ、焦点距離 f の位置で超音波ビームの集束を行うことができる。

ところで、従来の超音波診断装置では、上記第1式を予め計算して遅延時間を求め、求められた遅延時間を例えば ROM のような記憶装置に格納

医療の分野において、超音波を用いて生体内の断層像などを得る超音波診断装置が活用されている。

この超音波診断装置においては、一般的にアレイ振動子にて超音波の送受波が行われている。そして、アレイ振動子を構成する複数の振動素子における各振動素子の送受信号にそれぞれ異なる遅延時間を与えることにより、超音波ビームの電子偏向や電子フォーカスが行われている。例えば、電子走査の手法として、電子セクタ走査が知られており、また電子フォーカスの手法として、ダイナミックフォーカス法などが知られている。

第6図には、超音波ビームの電子偏向及び電子フォーカスの概念が示されている。

第6図において、超音波の送受波は、直線上に N 個配列されたアレイ振動子 10 にて行われている。そして、アレイ振動子を構成する各振動素子 $10a$ には、それぞれ送受信号の遅延を行う遅延器 $12a$ が設けられている。

そして、 i 番目の振動素子 $10a$ に接続されて

していた。そして、超音波の送波及び受波毎に ROM から遅延時間を読み出して上記遅延器 $12a$ に与えていた。

ここで、理想的な条件の下で、記憶装置に格納される遅延時間の情報量を以下に概算する。

まず、振動素子が 128 個あるとすると、各振動素子について遅延時間を保持する必要があるため、遅延時間は 128 種類保持する必要がある。

次に、焦点距離 f について考えると、超音波診断装置では送信時及び受信時に一般的にダイナミックフォーカスが行われるため、例えば f については 32 種類の遅延時間が必要である。

また、超音波ビームの偏向角度 θ が 256 方向設定されている場合、遅延時間は 256 種類必要である。

そして、振動素子の間隔 Δp については、これは探触子固有の値であり探触子の種類によって異なるため、例えば 32 種類の探触子を用いるためには、 Δp について 32 種類の遅延時間を保持する必要がある。

特開平4-193268(3)

このような各パラメータについての組合せを考えると、1つの遅延時間を10ビットで表した場合、保持すべき遅延時間の情報量は、40Mバイトになり、非常に大きな情報量となる。

このように、理想的に遅延時間の情報量を計算すると、大容量記憶装置が必要となり、また記憶装置へのアクセスに時間が要するなど不具合が生じる。

そこで、従来においては、接続できる探触子の種類を減らすと共に、それ以外のパラメータの種類を半分以下にして、情報量を減らし、それを大容量のROMなどに格納していたが、超音波診断精度を上げるために障害となっていた。

上記問題を解決するために、特開平1-193679号で、保持すべき遅延時間の情報量を削減した遅延時間発生装置が提案されている。

この従来の装置を説明する前に、以下に第1式で示した遅延時間計算式を別の数学的な表現に書き換える。

第7図には、X軸方向に沿うアレイ振動子と焦

点Fとの位置関係が幾何学的に示されている。

ここにおいて、Oは超音波ビーム形成に係る中心点であり、Pは中心点Oからx隔てた振動素子の位置を示している。

図において、焦点Fと中心点Oとの間の距離(焦点距離)fを半径として、焦点Fを中心に半径fの円弧を描くと、この円弧は焦点Fに集束する超音波の波面と考えることができる。従って、各振動素子でこのような波面を合成するには、図に示される円弧とX軸との間の距離に相当する時間差を送受信号に付与すればよいことが理解される。

ここで、Pの位置にある振動素子について考える。なお、図において、焦点Fと振動素子の位置Pとを含む直線が円弧と交わる点がQで示されている。

図において、距離PQは、以下の第2式で示される。

$$PQ = f - (f^2 + x^2 - 2xf \sin \theta)^{1/2} \quad \dots \text{ (第2式)}$$

$$+ x^3 \tau_M \dots (0, \theta) / 3! \\ - (a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x) / C \quad \dots \text{ (第4式)}$$

ただし、

$$a_3 = -\sin \theta \cos^2 \theta / (2f^2) \\ a_2 = -\cos^2 \theta / (2f) \\ a_1 = \sin \theta$$

そして、この従来の装置は、それぞれフィードバックループをもつ3つの加算器と、各加算器毎に設けられた加算係数($a_1 \sim a_3$)を発生するROMと、などから構成され、前記3つの加算器を3段直列に接続して上記第4式の計算が電気的に実現されている。

従って、この従来の遅延時間発生装置では、基本的に、上記第4式における各xの項の係数 $a_1 \sim a_3$ のみをROMに保持すればよいので、遅延時間発生に係る情報量の削減が図れる。

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の遅延時間発生装置においては、得られる遅延時間の精度が十分でない

そして、超音波が距離PQを伝搬する時間、すなわちPの位置にある振動素子に付与する遅延時間 τ は、次の第3式で示される。

$$\tau = \overline{PQ} / C \\ = f - (f^2 + x^2 - 2xf \sin \theta)^{1/2} / C \quad \dots \text{ (第3式)}$$

従って、各振動素子についてこの τ を求めるこにより、超音波の波面の合成が実現でき、超音波ビームの偏向及び集束が行える。

さて、上述した特開平1-193679号で提案された遅延時間発生装置では、上記第3式をxに関して3次の項までマクローリン級数展開する手法により遅延時間の発生を実現している。

以下に、参考としてその計算式を示す。(この式の詳細については特開平1-193679号参照)

$$\tau_M(x, \theta) \\ = \tau_M(0, \theta) + x \tau_M'(0, \theta) \\ + x^2 \tau_M''(0, \theta) / 2!$$

という問題がある。すなわち、マクローリン級数展開した後の第4式において、 x の絶対値が大きくなると求められる遅延時間の精度が悪くなるという問題がある。

ここで、マクローリン級数展開の手法による遅延時間誤差を求めるため、上記第3式と上記第4式に、 $f = 100 \text{ mm}$, $|x| = 25 \text{ mm}$, $\theta = 0^\circ$ を代入し、更に超音波の伝搬速度 C を $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm/ns}$ として両者を比較すると、遅延時間発生に係る誤差は 31 ns と求められる。

また、上記特開平1-193679号の遅延時間発生装置では、上記第3式の級数展開の手法として、ルジャンドル多項式を用いる方法も提案されている。しかしながら、上記各値を代入した結論を述べると、この方法によっても、その誤差は 38 ns である。

ところで、一般に、送受信号の遅延には上述したように遅延器などの遅延素子が用いられている。そして、遅延素子における最小遅延時間である量子化された遅延単位は、一般に、送受波される超

音波の周期の10分の1程度に短くする必要がある。

従って、遅延時間発生装置にて発生される遅延時間の誤差は、上記量子化された最小単位時間内に収まれば実際上問題は生じない。

このような前提の下、例えば、超音波診断装置において 5 MHz の超音波を用いる場合には、上記遅延素子の量子化単位時間は 20 ns 程度にする必要がある。

しかしながら、上記従来の装置で発生される遅延時間の誤差は、上述した値から理解されるように、この要求される 20 ns 以内に収まっておらず、場合により精度上問題があると言える。

以上のことから、マクローリン級数展開あるいはルジャンドル多項式を用いて計算式の近似を行う方法では、十分な精度が得られない場合がある。

一方、この精度を上げるため、級数展開を x について第4次の項まで行うことも可能であるが、この場合には、装置が非常に複雑化し、また迅速な遅延時間の発生が困難になるという問題がある。

本発明は、上記従来の課題に鑑みなされたものであり、その目的は、遅延時間発生に係る精度を一定内に維持しつつ記憶装置に格納する遅延時間の情報量を削減することのできる超音波診断装置の遅延時間発生装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は以下の原理を用いる。

発明の原理

本発明は、上記第3式を以下のように式変形することにより実現される。以下に、再び第3式を引用し、その式変形について説明する。

$$\begin{aligned} \tau &= \overline{PQ} / C \\ &= (f - (f^2 + x^2 \\ &\quad - 2x f \sin \theta)^{1/2}) / C \end{aligned} \quad \cdots \text{ (第3式)}$$

まず、第7図で示したアレイ振動子の超音波ビーム形成中心点Oから遅延時間発生に係る振動素子の位置Pまでの距離xを焦点距離fで除したものを規格化位置Xと定義する。

$$X = x / f \quad \cdots \text{ (第5式)}$$

従って、これを式変形すると $x = X f$ となり、この x を上記第3式に代入する。すると、次の第6式が得られる。

$$\begin{aligned} \tau &= (1 - (1 + X^2 - 2X \sin \theta)^{1/2}) \\ &\quad / (C / f) \end{aligned} \quad \cdots \text{ (第6式)}$$

そして、この第6式の両辺を超音波伝搬時間 f / C (上記超音波ビーム形成中心点から焦点Fまでの超音波の伝搬時間) で割ったのが次の第7式である。

$$\begin{aligned} \tau / (f / C) &= (1 - (1 + X^2 \\ &\quad - 2X \sin \theta)^{1/2}) \\ &\quad / ((C / f) \cdot (f / C)) \end{aligned} \quad \cdots \text{ (第7式)}$$

ここで、左辺は、遅延時間 τ を超音波伝搬時間 (f / C) で除したものであり、これを規格化遅延時間 T と定義する。

$$T = \tau / (f / C) \quad \cdots \text{ (第8式)}$$

従って、この規格化遅延時間 T は、以下の第9式に示すように、上記規格化位置 X と超音波の偏

向角度 θ との関数であり、この第9式上で焦点距離 f 及び各振動子間の間隔 Δp に依存しないことが理解される。

$T(X, \theta)$

$$= 1 - (1 + X^2 - 2X \sin \theta)^{1/2} \quad \dots \text{(第9式)}$$

このように、規格化遅延時間 T 及び規格化位置 X の概念を導入することにより、2つのパラメータで、すなわち X 及び θ で表される T をテーブル化して保持することにより、遅延時間発生に係る記憶装置に格納される情報量の削減を図ることが可能となる。なお、規格化遅延時間 T から遅延時間 τ への復元は、上記第8式から理解されるように、規格化遅延時間 T に f/C を乗算すればよい。

第1図は、以上説明した原理をブロック図で示したものである。ここにおいて、超音波診断装置本体から偏向角度情報 θ 、焦点距離情報 f 、プローブの種類の情報 P （振動子間の間隔 Δp 及び振動子数 m の情報を含む）が供給されている。

図において、規格化位置発生部10は、超音波

以上のように、規格化遅延時間テーブルのパラメータは X 及び θ の2つのみであり、従来と比べ少なくとも1つのパラメータを排除できるという利点を有する。

次に、第2図を用いて、線形補間を前提とした上記規格化遅延テーブルでの標本化について述べる。

規格化遅延時間テーブルにおいて規格化遅延時間 T を定める2つのパラメータ、すなわち X 及び θ に対し、その両者あるいはそのうちの一方を標本化することにより、規格化遅延時間テーブルにおける保持される情報量の大幅な削減を図ることが可能である。

第2図(A)には、その一例として、 X のみが所定のサンプル間隔で標本化されてテーブルが構成された規格化遅延時間テーブル16が示されている。なお、(B)にはテーブルの概念が示されている。

また、この第2図(A)には、上記標本化にて生ずる精度の劣化を補うための補間処理部18が

診断装置本体から f 及び P を入力して、上記第5式の演算を行い、規格化位置 X を発生するものである。ここで、 x は、振動子の間隔 Δp に振動子のアドレス i を乗算したものに相当する。

そして、規格化位置発生部10にて発生された規格化位置 X は、上記 θ 情報と共に、規格化遅延時間テーブル12に入力されている。

この規格化遅延時間テーブル12は、上述したように、規格化遅延時間 T を規格化位置 X 及び偏向角度 θ の関数としてテーブル化したものである。従って、上記 X 及び θ に対応する規格化遅延時間 T が output されることになる。

そして、出力された規格化遅延時間 T は、単位復元演算部14に入力される。

この単位復元演算部14は、以下に示す第10式を演算して、規格化遅延時間 T から遅延時間 τ を求めている。

$$\tau = T \cdot (f/C) + K \quad \dots \text{(第10式)}$$

ただし、 K は、負の遅延時間を避けるための定数である。

示されている。

従って、ある θ 及び X が特定されると、これによって規格化遅延時間テーブル16から隣り合う2つの遅延時間 T_1, T_2 (又は $T_1, \Delta T$) が求められることになる。そして、補間処理部18にて前記求められた T_1, T_2 (又は $T_1, \Delta T$) を X の重み付けで線形補間処理することにより、上記標本化に伴う精度の劣化を補いつつ遅延時間 τ の発生を行うことが可能である。

なお、標本化の点数は、要求される精度に応じて適宜に定めればよい。

上記原理を適用した課題解決の手段

上記原理を適用した本発明に係る遅延時間発生装置は以下の構成を有する。

まず、請求項(1)記載の発明は、超音波ビーム形成中心点から遅延時間 τ 発生に係る振動子までの距離 x を焦点距離 f で除した規格化位置 X を発生する規格化位置発生手段と、規格化位置 X 及び偏向角度 θ で定められる規格化遅延時間 T を保持する規格化遅延時間テーブルと、を含み、規

格化遅延時間テーブルにて求められた規格化遅延時間 T に所定の単位復元演算を行って遅延時間 τ を発生することを特徴とする。

また、請求項 (3) 記載の発明は、上記規格化位置発生手段と、規格化位置 X 及び偏向角度 θ で定められる規格化遅延時間 T に前記焦点距離 f と超音波の伝搬速度 C とで定まる単位復元係数 (f/C) を乗算した遅延時間 D を保持する遅延時間テーブルと、を含むことを特徴とする。

更に、請求項 (2) 及び (4) 記載の発明は、規格化遅延時間 T 又は遅延時間 D を定めるパラメータのうち少なくとも 1 つが標本化されてその標本化されたサンプル点について T 又は D が保持され、更に標本化に伴う精度の劣化を補う補間処理手段が設けられたことを特徴とする。

[作用]

上記請求項 (1) 記載の本発明の構成によれば、規格化位置発生手段にて、遅延時間 τ 発生に係る振動素子についての規格化位置 X が発生される。

そして、発生された規格化位置 X は、偏向角度

簡易になる。なお、遅延時間 D は、単位復元係数 (f/C) が規格化位置 X 及び偏向角度 θ に依存しないため、請求項 (1) 記載の本発明の構成と遅延時間発生に係る精度は同一である。

また、請求項 (2) 及び (4) 記載の本発明の構成によれば、補間処理手段による線形補間を前提として、テーブルにおける入力パラメータの標本化を行うことができるので、テーブルに保持される情報量の大幅な削減ができるという利点を有する。

[実施例]

以下、本発明の好適な実施例を図面に基づいて説明する。

第3図には、本発明に係る遅延時間発生装置の好適な実施例が示されている。この第3図に示される遅延時間発生装置は、第1図で示した構成を更に具体化したものである。なお、この装置は、例えば超音波診断装置などに組み込まれる。

図において、この装置は、規格化位置 X を発生する規格化位置発生部 22 と、発生された規格化

θ と共に、規格化遅延時間テーブルに入力され、その両者で定められる規格化遅延時間 T が output される。

従って、出力された規格化遅延時間 T について所定の単位復元演算を行うことにより、遅延時間 τ を発生することが可能となる。

また、請求項 (3) 記載の本発明の構成によれば、上記規格化遅延時間テーブルの代りに遅延時間テーブルを設けることにより、上述した単位復元演算を行わずに直接遅延時間 D を求めることができる。

ここで、遅延時間テーブルに格納される遅延時間 D は、規格化位置 X 及び偏向角度 θ で定められる規格化遅延時間 T に焦点距離 f で定まる単位復元係数 (f/C) を乗算したものであり、テーブルにおける入力パラメータが請求項 (1) 記載の本発明の構成に比べ 1 つ増す反面、遅延時間テーブルから直接遅延時間 D を求められるという利点を有する。

従って、遅延時間テーブル以後の回路の構成が

位置 X と偏向角度 θ とを入力して規格化遅延時間 T を出力する規格化遅延時間テーブル（以下、テーブルという） 24 と、テーブル 24 から出力された規格化遅延時間 T に対して線形補間を行う補間処理部 26 と、補間処理部 26 から出力された規格化遅延時間 T に対して所定の単位復元演算を行う単位復元演算部 28 と、から構成されている。

ここで、規格化位置発生部 22 から出力された規格化位置 X のうち整数部 X_R は、超音波診断装置本体から整数値で与えられる偏向角度 θ と共に、テーブル 24 に入力されている。

一方、規格化位置発生部 22 から出力された規格化位置 X のうち小数部 τ は、補間処理部 26 に供給されており、その線形補間処理に係る重み付けに供されている。

なお、本実施例においては、 θ の種類が 256 種類とさほど大きくないため、 θ については標本化しておらず、 X についてのみ標本化が行われている。もちろん、 θ について標本化を行ってもよい。この標本化、特にサンプル点数の計算につい

ては後に詳述する。

まず、このような本実施例のテーブル24に対して規格化位置Xを発生する規格化位置発生部22について説明する。

この規格化位置発生部22は、超音波診断装置本体からプローブ情報P（振動素子間の間隔 Δp 及び振動素子数mの情報を含む）及び焦点距離情報fを入力して後述する累積係数 α 及び加算初期値 β を出力する加算係数発生器30と、一方の入力端子に累積係数 α が入力され他方の入力端子にフィードバックされた規格化位置Xが供給された加算器32と、超音波診断装置本体から供給されるクロックiに従って前記加算器32の出力値を一時的に格納するレジスタ34と、から構成されている。なお、レジスタ34には、最初の加算動作時に、加算係数発生器30から加算初期値 β が供給される。

このように構成された規格化位置発生部22の動作原理について以下に説明する。

まず、第5式から、i番目の振動子についての

じて累積係数 α 及び加算初期値 β を発生させ、この発生された α 及び β を第14式に基づいて累積加算することにより、振動素子の順番毎に順次その規格化位置Xを発生することが可能である。

すなわち、最初の加算時には、加算器32に α が供給され、一方、レジスタ34には β が供給される。そして、次の加算時には、クロックiの入力により、加算器32にて α と β が加算され、レジスタ34には加算後の値($\alpha + \beta$)が格納されることになる。このような過程が順次繰り返されて、順次規格化位置Xが発生される。

次に、テーブル24について説明する。

テーブル24には、規格化位置発生部22にて発生された規格化位置Xの整数部 X_R が供給されている。なお、一方の小数部 r は、後述する補間処理部26に供給されており、両者の分岐は、例えば、上位ビット又は下位ビットの抽出により行われる。具体的には、規格化位置Xの伝送にパラレルバスが用いられている場合には、その複数本のバスのうちの数本が整数部に供され、残りの複

規格化位置Xは、次のように表すことができる。

$$X = \Delta p (i - (m + 1) / 2) / f \quad \dots \text{ (第12式)}$$

ただし、mは振動素子の総数である。

テーブル24における規格化位置Xに関する標本化のサンプル間隔を ΔX とし、更にテーブル24におけるXについての中心のアドレスを X_0 として、テーブル24におけるXのアドレスを整数で与えるために、上記第12式を以下の第13式に書き変える。

$$X = \Delta p (i - (m + 1) / 2) / (f \cdot \Delta X) + X_0 \quad \dots \text{ (第13式)}$$

従って、この第13式をiに関する係数とそれ以外とに分けることにより次の第14式を得る。

$$X = \alpha i + \beta \quad \dots \text{ (第14式)}$$

ただし、 $\alpha = \Delta p / (f \cdot \Delta X)$

$$\beta = -\Delta p (m + 1) / (2 \cdot f \cdot \Delta X) + X_0$$

従って、超音波診断装置本体から供給されるプローブの種類の情報P及び焦点距離の情報fに応

じて累積係数 α 及び加算初期値 β を発生させ、この発生された α 及び β を第14式に基づいて累積加算することにより、振動素子の順番毎に順次その規格化位置Xを発生することが可能である。

すなわち、最初の加算時には、加算器32に α が供給され、一方、レジスタ34には β が供給される。そして、次の加算時には、クロックiの入力により、加算器32にて α と β が加算され、レジスタ34には加算後の値($\alpha + \beta$)が格納されることになる。このような過程が順次繰り返されて、順次規格化位置Xが発生される。

次に、テーブル24について説明する。

テーブル24には、規格化位置発生部22にて発生された規格化位置Xの整数部 X_R が供給されている。なお、一方の小数部 r は、後述する補間処理部26に供給されており、両者の分岐は、例えば、上位ビット又は下位ビットの抽出により行われる。具体的には、規格化位置Xの伝送にパラレルバスが用いられている場合には、その複数本のバスのうちの数本が整数部に供され、残りの複

数本が小数部 r 用に用いられる。

ここで、テーブル24では、供給された整数部 X_R と超音波診断装置本体から供給された偏角角度 θ 情報とで定まる規格化遅延時間Tを出力する。

本実施例において、その出力は、第2図(B)で示したように、 X_R と θ とで定まる規格化遅延時間Tと標本化されたXのサンプル間での差 ΔT とが出力されている。

つまり、後の線形補間で常に ΔT が必要なため、この規格化遅延時間 T_1 の出力と共に ΔT をも同時に出力している。もちろん、 T_1 とこの T_1 のXについての次の値である T_2 とを同時に ΔT をも出力して、補間処理を行っても同様の結果を得ることができる。

次に、補間処理部26は、乗算器36と、加算器38とで構成されている。

そして、乗算器36には、テーブル24から ΔT が供給され、これと共に、前記規格化位置発生部22から出力された規格化位置Xのうちその小数部 r が入力され、両者の乗算が行われている。

そして、その乗算の結果がテーブル24から出力された T_1 と加算器38にて加算されている。

すなわち、 ΔT に r の重み付けを行って、その結果を T_1 に加算することにより、線形補間が実現されている。

次に、単位復元演算部28について説明する。

この単位復元演算部28は、上記第10式で示された規格化遅延時間 T に対する f/C の乗算と、その乗算結果に対する所定の定数 K の加算とを行うものである。

そして、この単位復元演算部28は、 f/C 発生器40と、 K 発生器42と、 f/C 発生器40から出力された値を上記補間処理部26から出力された遅延時間 T に乗算する乗算器44と、この乗算器44の出力に前記 K 発生器42から出力されたプローブの種類によって異なる定数 K を加算する加算器45と、から構成されている。従って、この構成によれば、上述した第10式の演算がなされて、この結果、遅延時間 T が順次出力されることになる。

… (第15式)

ここで、この第15式を変形すると、次の第16式を得る。

$$(Y - 1)^2 - (X - \sin \theta)^2 = \cos^2 \theta$$

… (第16式)

第5図には、この第16式に示される X と Y との関係が示されている。ここに示されるように、 $|X - \sin \theta|$ が大きくなると Y の変化が漸近線(直線)に近づき、線形補間でも十分に良い近似が得られることが理解される。

この場合、線形補間の誤差が最大となるのは、第5図に示される $X = \sin \theta$ の直線と双曲線との交点であり、 X についてのサンプル間隔を ΔX とすれば、線形補間による誤差 e は、次の第17式で示される。

$$e = \cos \theta - (\cos^2 \theta + (\Delta X/2)^2)^{1/2} \quad \dots (第17式)$$

ここで、 $|e|$ は、 θ が増大するほど大きくなるため、 θ の上限を 45° とすれば、 $\theta = 45^\circ$ で $|e|$ は最大となる。そして、この場合の e に

以上のように、本実施例の遅延時間発生装置によれば、線形補間を前提として標本化を用いてテーブル24の情報量を極端に少なくすることができますので、超音波診断装置における遅延時間の発生を簡易かつ迅速に行うことが可能となる。特に、従来においてはテーブルの容量により制約されていた偏向角度の種類の増大やフォーカス点の増加の要望などを実現させることができるので、超音波診断装置の分解能を向上させて、精度の良い超音波診断が行えるという効果を有する。

標本化に関するサンプル点数の検討

以下に、規格化遅延時間テーブルにおける規格化位置 X 及び偏向角度 θ の標本化に関するサンプル点数について検討を行う。

まず、規格化位置 X に関するサンプル点数を考える。

上記第9式の規格化遅延時間 T を Y と置くと、 Y についての以下の第15式を得る。

$$Y = T(X, \theta)$$

$$Y = 1 - (1 + X^2 - 2X \sin \theta)^{1/2}$$

f/C を乗算して時間の単位に変換すれば、最大遅延誤差が得られる。

このような前提の下で、 $f = 100\text{ mm}$ としたときの最大遅延誤差が、例えば 5 ns より小さくなるような ΔX を求めるとき、

$$\Delta X < 0.02 \quad \dots (第18式)$$

となる。

ここで、 X に関しては、焦点距離 f が小さいときには、実際の装置において送受信の開口長を短くする、すなわち駆動される振動素子の数を少なくすることを考慮して、 X の取り得る範囲を、

$$-0.25 \leq X \leq 0.25 \quad \dots (第19式)$$

と仮定すると、 X の範囲 (0.5) を $\Delta X (0.02)$ で標本化すれば、 5 ns の精度が保証されることが理解される。つまり、 X についてのサンプル点数は、25点 $(0.5/0.02)$ あれば十分であることが理解される。

次に、 θ に関するサンプル点数を検討する。

ここでは、第9式において、 $|\theta| \leq 45^\circ$ 、 $|x| \leq 0.25$ の範囲では、第9式の右辺 X^2

$-2X \sin \theta$ が 1 より小さいため、これを a とすれば、

$$(1+a)^{1/2} = 1 + a/2 - a^2/8 \quad \dots \text{(第20式)}$$

のような a についての第2次の項までのテーラー展開を第9式に適用することができる。そして、この近似式を適用すると第9式は、次の第21式のようになる。

$$\begin{aligned} T(X, \theta) \\ = & - (X^2 - 2X \sin \theta) / 2 \\ & + (X^2 - 2X \sin \theta)^2 / 8 \dots \text{(第21式)} \end{aligned}$$

この場合に、 θ についてのサンプル間隔を $\Delta \theta$ としたときの線形補間の誤差 e を計算すると、次の第22式のようになる。

$$\begin{aligned} e = & (T(X, \theta + \Delta \theta / 2) \\ & + T(X, \theta - \Delta \theta / 2)) / 2 \\ & - T(X, \theta) \\ = & X \Delta \theta^2 (X \cos 2\theta - \sin \theta) / 8 \quad \dots \text{(第22式)} \end{aligned}$$

ここで、第22式は、 $X = -0.25$ (X の最

小値)、 $\theta = 45^\circ$ (θ の最大値) で e が最大となることが理解される。

従って、この第22式に、 $X = -0.25$ 、 $\theta = 45^\circ$ を代入して求められた e に $f = 100\text{m}$ m の場合の f/C を乗算して時間の単位に変換することにより、最大遅延誤差が得られる。そして、最大遅延誤差が 5ns より小さくなる場合の $\Delta \theta$ を求めると、

$$\Delta \theta \leq 3.37^\circ \quad \dots \text{(第23式)}$$

となる。

従って、 $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ の範囲で 5ns の精度を保証する場合、 θ についてのサンプル点数は、27点 ($90^\circ / 3.37^\circ$) であることが理解される。

以上のことから、 X 及び θ の標本化に関するサンプル点数は、それと共に 2^5 程度にすれば良く、このようなサンプル点数で構成された規格化遅延時間テーブルにより、 5ns 以下の誤差での遅延時間の発生が実現される。

なお、サンプルの点数を増せば、遅延時間発生

に係る誤差を更に小さくすることもでき、上述した従来例に比べ、十分精度の良い遅延時間を発生できることが理解される。

遅延時間発生装置の変形例

次に、第3図で示した本発明に係る遅延時間発生装置の変形例について以下に説明する。

第4図には、第3図で示した装置の変形例が示されている。なお、第3図に示した規格化位置発生部22は同一の構成であるため、その説明を省略する。

この変形例において特徴的なことは、遅延時間テーブル46に上述した規格化遅延時間 T に単位復元係数 f/C を掛けた遅延時間 D を保持したことにある。

すなわち、遅延時間テーブル46に、 f/C が乗算された遅延時間 D を保持することにより、単位復元演算の主な部分を省略することが可能である。

ただし、この変形例においては、遅延時間テーブル46において焦点距離情報 f が必要であり、

このために、超音波診断装置本体から焦点距離 f が遅延時間テーブル46に入力されている。

従って、このような構成によれば、第3図で示した実施例に比べ、テーブルに格納される遅延時間 D に関する情報量の増大は避けられないが、後に行われる単位復元演算を極めて簡易化できるという利点を有する。

ここで、この変形例においても、テーブル46における遅延時間 D を定めるパラメータのうち規格化位置 X については標本化が行われており、そのサンプル点数は、上記サンプル点数の計算により求められた点数と同様である。

すなわち、 f/C は、 X と θ に影響を与えず、その精度が不変なためである。従って、この変形例においても、 X 及び θ について例えば 2^5 程度のサンプル点があれば、十分な精度で遅延時間の発生を行うことが可能である。

第4図において、遅延時間テーブル46からは、遅延時間 D_1 が出力され、更に上記実施例同様に、標本化に係るサンプル間での差異 ΔD も出力され

ている。

そして、この両者は、補間処理部48に入力されている。この補間処理部48は、上記補間処理部26同様に、乗算器50と加算器52とで構成され、規格化位置発生部22から出力された規格化位置Xのうちその小数部 τ の重み付けによって、遅延時間Dの線形補間がなされている。

そして、補間処理部48から出力された遅延時間Dは、係数加算部54に入力されている。

ここで、係数加算部54は、超音波診断装置本体から供給されるプローブの情報Pを入力して定数Kを出力するK発生器56と、この定数Kを上記補間処理部48から出力された遅延時間Dに加算する加算器58と、から構成されている。

従って、この変形例においても、上記実施例と同様に、遅延時間 τ が順次発生されることになる。

以上のように、この変形例では、遅延時間テーブル46の入力パラメータが1つ増加したが、その反面、テーブル46より後段の回路構成を省略でき、この結果、迅速な遅延時間 τ の発生が行え

従って、Nを32としても全体の総情報量は約46Kバイトとなり、前述した約40Mバイトの約1/870となる。

一方、第4図で示した本発明に係る遅延時間発生装置の変形例における保持すべき全ての情報量について検討すると、遅延時間テーブル46について、更にfの種類だけ情報量が増加するため、総情報量は従来の方法による約40Mバイトの約1/30となる。

このように、特に第3図で示した本発明装置の実施例では、従来例よりも飛躍的に保持すべき情報量の削減を図ることができることが理解される。

一方、第4図で示した本発明装置の変形例においては、第3図で示した実施例に比べ、保持すべき情報量の増大は回避できないが、それでも従来の方法より情報量を大幅に少なくできるという効果を有する。

他の変形例

第3図及び第4図で示した本発明に係る遅延時間発生装置の構成の変形例としては、T(X, θ)

という利点を有する。

保持される情報量の検討

第3図で示した本発明に係る遅延時間発生装置の実施例の構成において、保持される全体の情報量は以下のように概算される。

まず、規格化遅延時間テーブル24では、 T_1 を13ビット、 ΔT を8ビットで与え、規格化位置Xについてのサンプル点数を64、偏向角度 θ についてのサンプル点数、すなわちビームの本数を256とすれば、次の量になる。

$$(13 + 8) \cdot 64 \cdot 256 \\ - 42 \text{ Kバイト}$$

一方、加算係数発生器30及びf/C演算器40及びK演算器42に格納される全体の情報を考えると、 α を12ビット、 β を16ビット、f/Cを6ビット、Kについて11ビットを与え、更に、焦点fの数を32種類とし、接続できる探触子の個数をNとすれば、次の量となる。

$$(32 \cdot (12 + 16 + 6) + 11) \cdot N \\ - 140 \cdot N \text{ バイト}$$

-X(-X, - θ)の対称性を利用して、回路の構成を変形することができる。

例えば、その第1例として、 $\theta \geq 0$ の部分だけについて、規格化遅延時間Tあるいは遅延時間Dをテーブルに保持することも可能である。また、第2例として、規格化位置Xは、アレイ振動子における超音波ビームの形成中心点Oの左右で符号が異なるだけであるのでX ≥ 0 とX ≤ 0 で規格化遅延時間T(又は遅延時間D)を並列に発生させることも好適である。

また、この第1例と第2例とを併用することにより、簡便かつ迅速な遅延時間の発生を行うことが可能である。

【発明の効果】

以上説明したように、請求項(1)記載の発明によれば、規格化位置X及び偏向角度 θ の2つの入力パラメータで遅延時間 τ 発生に係るテーブルを構成することができる。

また、請求項(3)に記載の発明によれば、規格化遅延時間Tに所定の単位復元係数f/Cを乗

算した遅延時間Dをテーブルに保持して、テーブルから直接遅延時間Dを求める所以ができるので、単位復元演算に要する構成を簡易化できるという効果を有する。

更に、請求項(2)及び(4)記載の発明によれば、線形補間を前提として、規格化遅延時間テーブル及び遅延時間テーブルに格納される情報量を大幅に削減する所以ができる。

特に、標本化の点数を適宜に設定することにより、所望の精度で、遅延時間を発生でき、この結果、信頼性の高い遅延時間発生装置を構成する所以可能である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の原理を示すブロック図、

第2図は、標本化と補間処理の流れを示す説明図、

第3図は、本発明に係る遅延時間発生装置の実施例を示すブロック図、

第4図は、本発明に係る遅延時間発生装置の実施例の変形例を示すブロック図、

第5図は、規格化位置Xと規格化遅延時間Y(T)との関係を示す図、

第6図は、超音波ビームの電子偏向及び電子フォーカスを示す説明図、

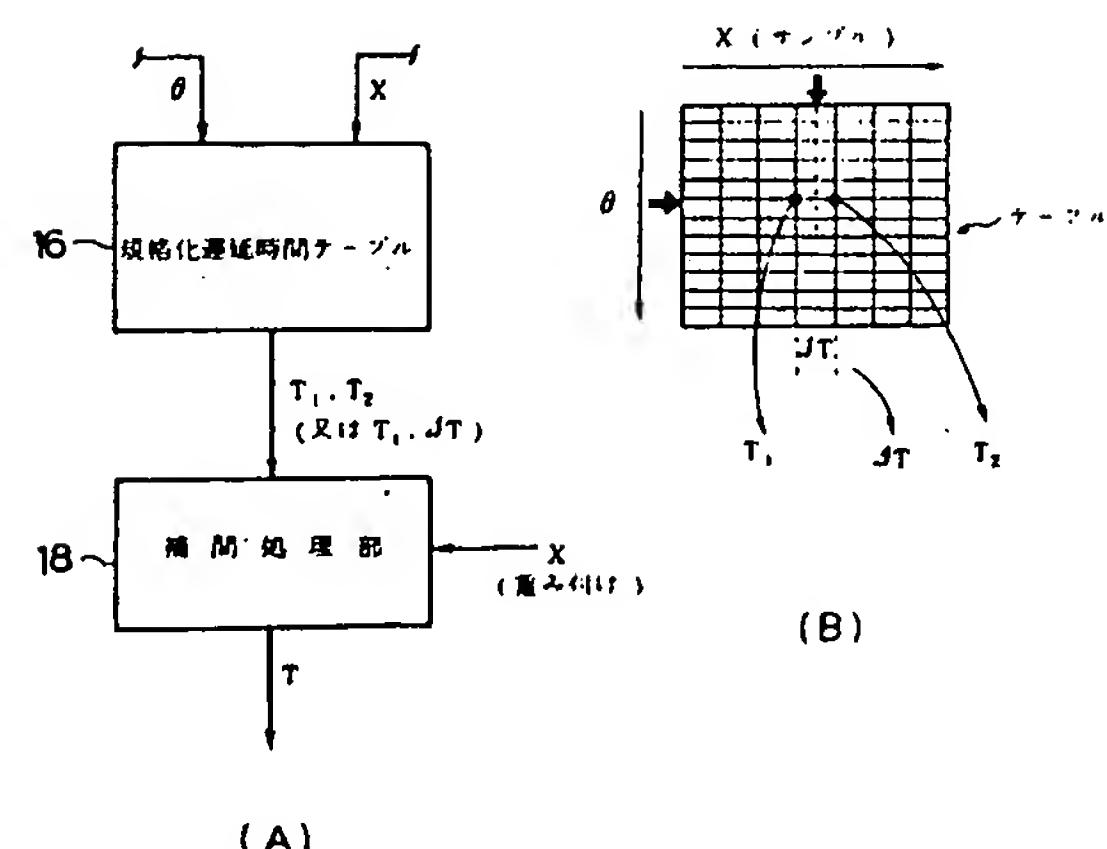
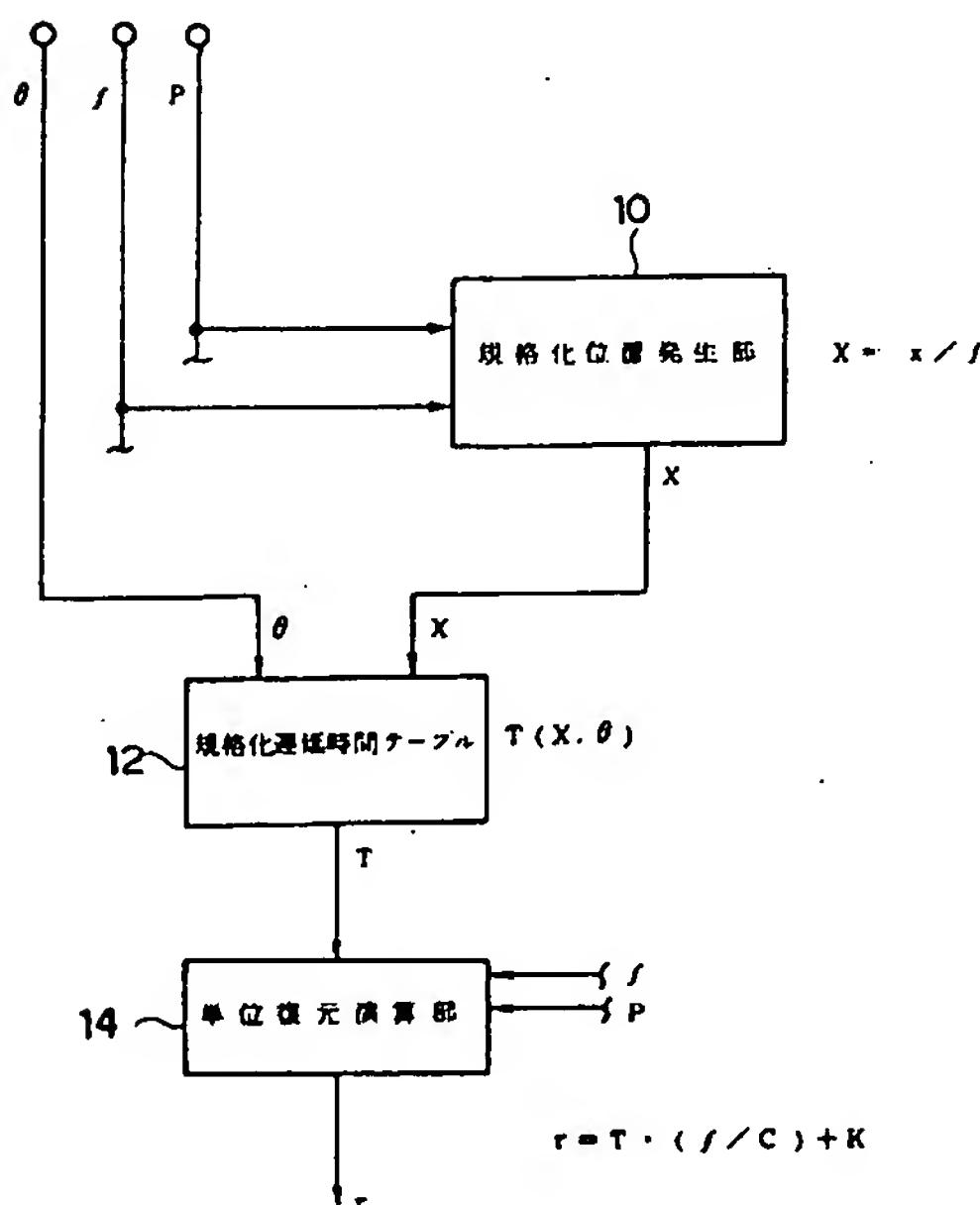
第7図は、X軸方向に沿うアレイ振動子と焦点Fとの位置関係を幾何学的に示し、遅延時間の計算を説明するための説明図である。

10. 22 … 規格化位置発生部
12. 16. 24 … 規格化遅延時間テーブル
14. 28 … 単位復元演算部
18. 26 … 補間処理部

出願人 アロカ株式会社

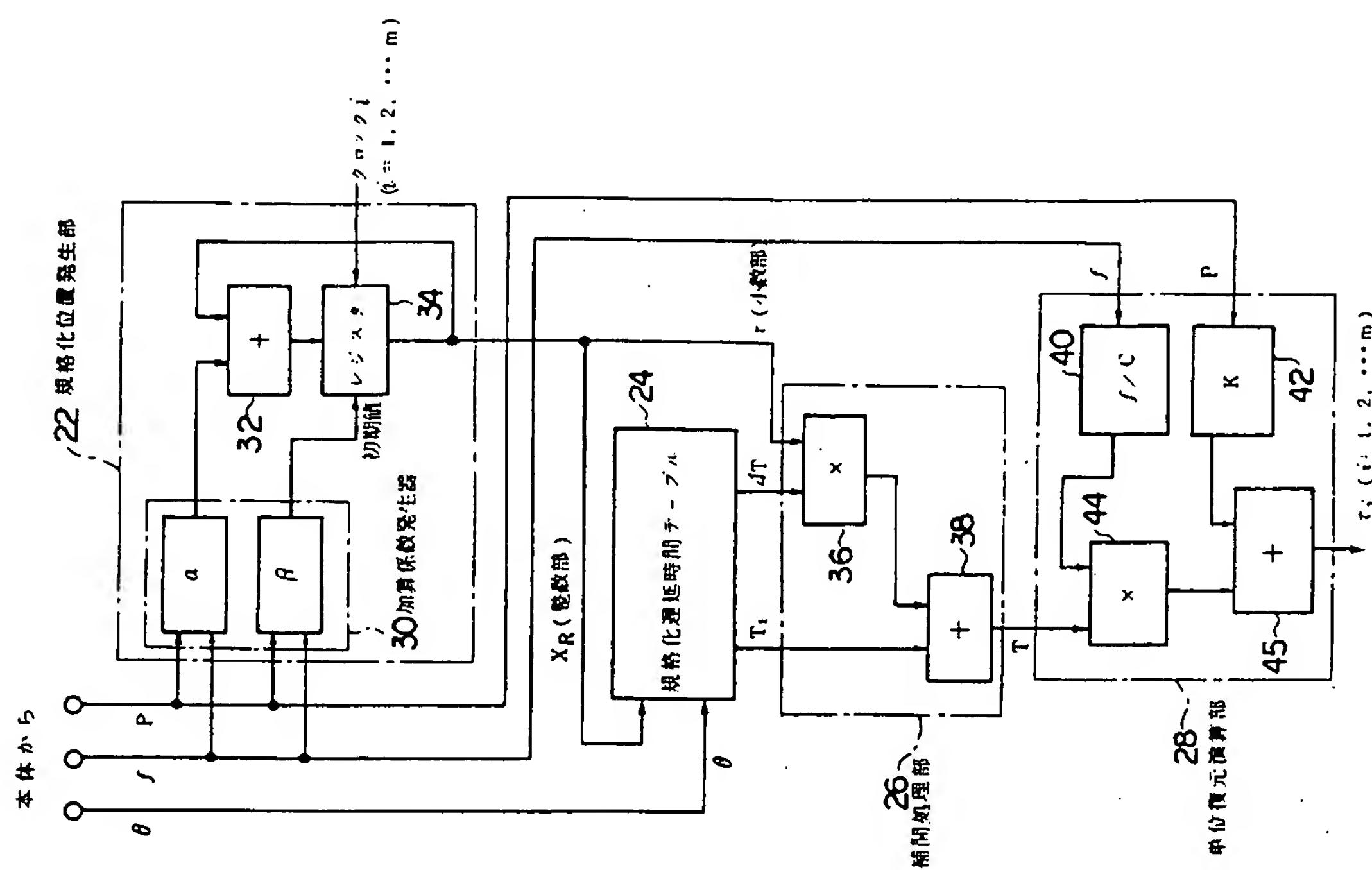
代理人 弁理士 吉田研二

(外2名) [D-82]

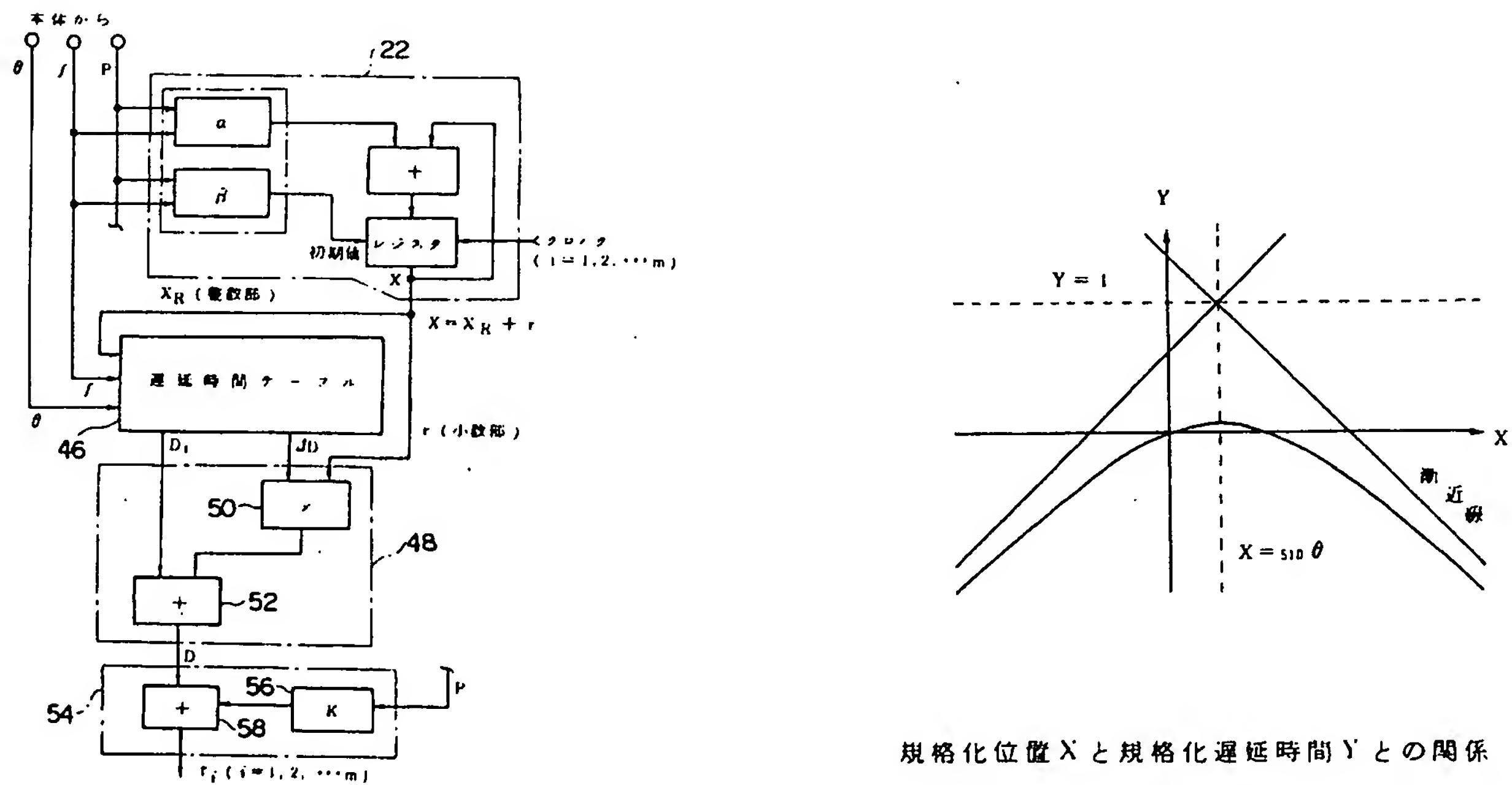


第2図

第1図

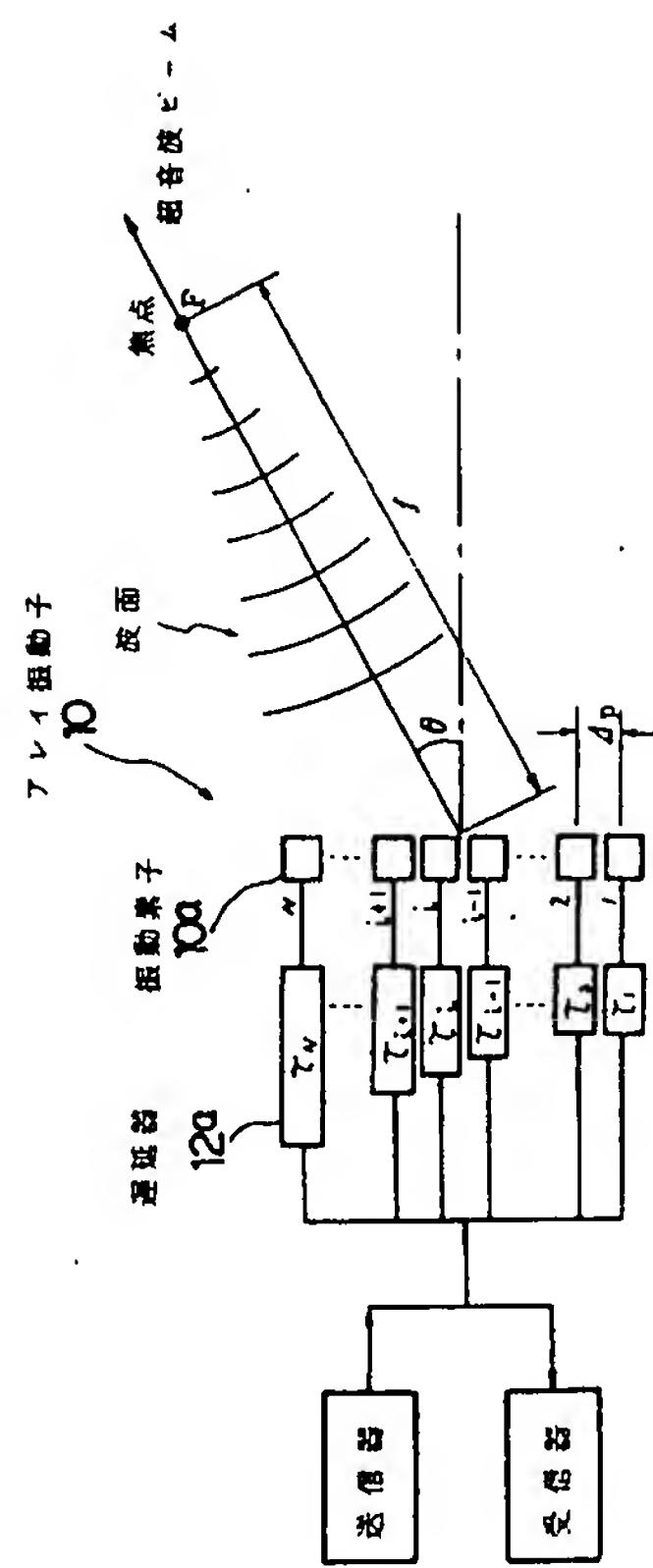


第3図

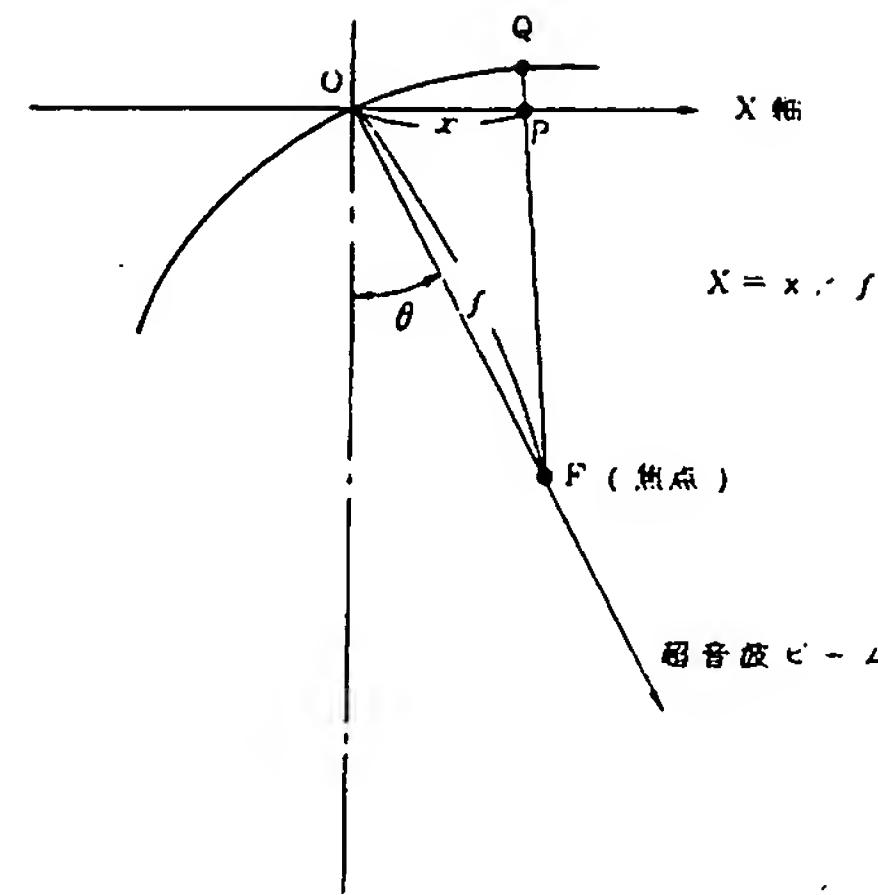
規格化位置入と規格化遅延時間 Y との関係

第5図

第4図



第6図



第7図